

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Kompenzace zemních spojení ve vn sítích.

Earth Fault Compensation in MV Network.

Zadání bakalářské práce

Student: **Štefan Marchevka**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika

Téma: **Kompenzace zemních spojení ve vn sítích.
Earth Fault Compensation in MV Network.**

Zásady pro vypracování:

1. Popis kabelových i venkovních sítí nn a vn
2. Teoretický rozbor vzniku zemního spojení
3. Možnosti kompenzace zemních kapacitních proudů
4. Možnosti lokalizace místa zemního spojení
5. Příklad výpočtu

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení, Skripta VŠB-TU Ostrava, 1990
2. Hodinka, M.: Přenos a rozvod elektrické energie, SNTL, 1989
3. Trojánek, Z.: Přechodné jevy v elektrizačních soustavách, SNTL 1987
4. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku, SNTL, 1991
5. Toman, P.: Lokalizace místa zemního spojení v sítích VN, Brno, 2002

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Dr.Ing. Jiřímu Gureckému za odborné konzultace a pomoc při vypracování bakalářské práce.

Odevzdání: 4.5.2012

Štefan Marchevka

Abstrakt

V předložené práci jsou popsány základní pojmy venkovních a kabelových sítí vn a nn, vysvětleny důležité elektrické parametry a nejpoužívanější materiály pro výrobu těchto kabelů. Dále se tato práce zabývá vznikem zemního spojení a možnostmi jeho následné lokalizace a použití všech dostupných způsobů kompenzace tohoto spojení. Jsou zde také uvedeny možnosti kompenzací zemních kapacitních proudů nejen použitím zhášecí tlumivky, ale i za pomoci ostatních, doposud ověřených metod. V další části je zpracován příklad výpočtu návrhu kompenzačního zařízení kabelového rozvodu. V práci je zahrnuta řada doplňujících obrázků a schémat.

Abstract

In this work, there are described the basic concepts of outside cable networks MV and LV, explained important electrical parameters and the most widely used materials for the manufacture of these cables. Furthermore, this work deals with the development of the ground connection, its subsequent localization and use of all available methods of compensation for such connections. There are also options of compensation of ground capacitive current using not only arc reactors, but also with the help of other proven methods currently used. In the second part of this work, there is an example of calculating the compensatory equipment design of the cable mains. The work includes many additional images and diagrams.

Klíčová slova

Elektrické parametry, zemní spojení, kompenzace zemního spojení, lokalizace zemního spojení, druhy kompenzace

Key words

electrical parameters, ground fault, earth fault compensation, fault localization, types of compensation

Seznam použitých symbolů a zkratk

A	ampér
C	celkové kapacita vztažená k zemi [F]
E	indukované elektromagnetické napětí alternátoru
G	svodová vodivost [S]
I	elektrický proud [A]
I_1	fázor proudu sousledné složkové soustavy
I_2	fázor proudu zpětné složkové soustavy
I_0	fázor proudu netočivé složkové soustavy
I_{cv}	efektivní hodnota celkového kapacitního proudu [A]
I_{cs}	efektivní hodnota celkového kapacitního proudu sítě [A]
I_{kap}	proud kapacitní [A]
I_L	proud tlumivky [A]
L	indukčnost [H]
P	efektivní hodnota činného výkonu [W]
Q	jalový výkon [VAr]
R	odpor rezistoru [W]
R_L	odpor tlumivky [W]
S	zdánlivý výkon [VA]
U_f	elektrické napětí fázové [V]
U_0	napětí uzlu vůči zemi [V]
U	elektivní hodnota fázového napětí
X_C	kapacitní reaktance vedení
Z_{C0}	celková impedance netočivé složkové soustavy
k_c	koefficient citlivosti ochrany [-]
k_o	kapacita proti zemi [F]
u_m	okamžitá hodnota amplitudy V
ω	úhlová rychlost [rad/s]

Obsah

1. POPIS KABELOVÝCH I VENKOVNÍCH SÍTÍ NN A VN	9
1.1 Základní pojmy	9
1.2 Elektrické parametry.	9
1.2.1 Činný odpor	10
1.2.2 Indukčnost – induktivní reaktance.....	10
1.2.3 Kapacita vedení.....	12
1.2.4 Svod	12
1.3 Silová elektrická vedení	12
1.4 Venkovní elektrická vedení a jejích vodiče	13
1.5 Materiály používané na vodiče	13
1.6 Konstrukce používané u vodičů	14
1.7 Hladiny napětí	15
2. TEORETICKÝ ROZBOR VZNIKU ZEMNÍHO SPOJENÍ.....	17
2.1 Rozdělení zemních spojení	18
2.2 Trvalé zemní spojení.....	19
2.3 Přerušované zemní spojení.....	20
3. MOŽNOSTI KOMPENZACE ZEMNÍCH KAPACITNÍCH PROUDŮ	24
3.1 Sít nepřímou uzemněná přes zhašecí tlumivku	24
3.2 Nepřímou uzemněná sít přes odpor	26
3.3 Sít s přechodným uzemněním uzlu	27
3.4 Sít s nepřímou uzemněným uzlem přes Bauchův transformátor	28
4. MOŽNOSTI LOKALIZACE MÍSTA ZEMNÍHO SPOJENÍ	29
4.1 Lokalizace u sítě s kompenzací zemních kapacitních proudů	29
4.2 Lokalizace místa zemního spojení s využitím proudového kritéria	30
4.3 Lokalizace místa zemního spojení s využitím napěťového kritéria	31
4.4 Lokalizace místa zemního spojení postupným vypínáním úseků.	33

4.5 Lokalizace zemního spojení kontrolou údržby	33
5. PŘÍKLAD VÝPOČTU	34
6. ZÁVĚR.....	36
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	37

Úvod

Elektrickou energii využíváme více jak jedno století a stala se neodmyslitelnou součástí našeho života a postupně jsme se stali na ni závislí. Tuto energii získáváme z různých zdrojů. Velký problém elektrické energie je ten, že ji nejde skladovat a tím si ji musíme přepravovat na velké vzdálenosti v elektrických kabelech. Tímto se stala síť rozsáhlou a i tady dochází k jevům, které nám ohrožují spolehlivost a bezpečnost v síti, čímž je např. zemní spojení. I tento jev je způsoben různými vlivy, jako je stárnutí, mechanické poškození atd. U vzniku zemního spojení mohou vznikat elektrické oblouky, které ohrožují celé vedení. Tohle spojení se snažíme co nejrychleji odstranit pomocí kompenzací, čímž omezíme velikost kapacitního proudu a zajistíme spolehlivý provoz sítě. Vše by mělo být v souladu s normami.

1. Popis kabelových i venkovních sítí nn a vn

1.1 Základní pojmy

Elektrické vedení

Obecně označuje vodivé spojení pro přenos elektrické energie. Z technického hlediska označuje pojem, vedení určité uspořádání vodičů, izolačních materiálů a konstrukcí pro přenos elektrické energie mezi dvěma body (uzly) elektrické sítě. [8]

Kabelové vedení

Zařízení, které zajišťuje přenos elektrické energie. Skládá se z jednoho či několika vodičů, které mají společnou izolaci. Jeho uložení může být v zemi, pod omítkou, v kabelových kanálech, atd. [8]

Silové elektrické vedení

Zařízení sloužící pro přenos elektrické energie. Je součástí elektrizační soustavy a z konstrukčního hlediska se dělí na kabelové a venkovní. [8]

Venkovní silové vedení

Zařízení, které slouží pro přenos elektrické energie mimo budovy. Jeho uložení je na stožárech a konzolách nad daným terénem. [8]

1.2 Elektrické parametry.

V elektrických soustavách se nám objevují jevy, které potřebujeme znát pro spolehlivou funkci elektrických sítí. Základní úlohou je výpočet parametrů. V elektrických rozvodných soustavách používáme čtyři parametry. Při výpočtech vedení je výhodné udávat hodnoty parametru na jeden kilometr délky. Tím dosáhneme odpor R_K [$\Omega \cdot \text{km}^{-1}$], kapacitní susceptanci B_K [$\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$], indukční reaktanci X_K [$\Omega \cdot \text{km}^{-1}$] a svod G_K [$\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$].

Všeobecně mají vodiče čtyři parametry:

- kapacita C [F]
- indukčnost L [H]
- činný odpor R [Ω]
- svod G [S]

1.2.1 Činný odpor

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad [\Omega] \quad (1.1)$$

Činný odpor s měrným odporem vodiče ρ a zvětšující délkou roste, ale podílem průřezu S klesá. Čím bude průřez větší, tím odpor bude klesat.

Činný odpor vodiče je dále závislý na teplotě dle vztahu:

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta t) \quad [\Omega, K^{-1}, K] \quad (1.2)$$

kde α je tepelný součinitel odporu

Vlivem skinefektu u střídavého proudu se činný odpor R zvětšuje na hodnotu R'

$$R' = k \cdot R \quad [\Omega, -, \Omega] \quad (1.3)$$

kde k – součinitel respektující skinefekt

R – odpor vodiče při stejnosměrném proudu

R' – odpor vodiče při střídavém proudu

Skinefekt je jev, který se vyskytuje jenom u střídavého proudu a to tak, že vlivem magnetického pole uvnitř vodiče je vytlačován proud k povrchu. Tím je odpor vodiče u střídavého proudu větší než proud stejnosměrný.

1.2.2 Indukčnost – induktivní reaktance

K určení induktivní reaktance se používá vztah

$$X_L = \omega L \quad [\Omega] \quad (1.4)$$

Zjednodušený obecný vztah pro indukčnost na jeden kilometr je

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi} \ln \frac{4h}{\pi d} \quad [H] \quad (1.5)$$

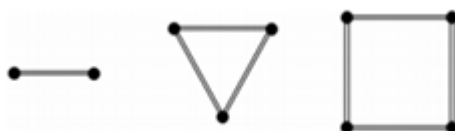
kde r – poloměr vodiče

d – vzdálenost mezi vodiči



Obr. 1 Jednofázové vedení a trojfázové souměrné vedení

K zamezení indukční reaktance se používají tzv. svazkové vodiče. V jedné fázi se používají dva, tři nebo čtyři paralelní vodiče. Aby se ve svazku udržela stejná vzdálenost mezi vodiči, používají se kovové rozpěry, které jsou od sebe vzdáleny 30 až 50cm. Tím se sníží indukčnost vůči fázi s jedním lanem o 26 až 32 %.



Obr.2 Svazkové vodiče

Mezi výhody svazkových vodičů můžeme zařadit menší indukčnost a tím i menší induktivní reaktanci vedení, taky větší proudové zatížení nebo menší ztráty korunou atd.

Mezi nevýhody svazkových vodičů můžeme zařadit větší zatížení námrazou a větrem nebo dražší stožáry, jejich vstroj a montáž atd.

K dosažení přesnějšího výpočtu v trojfázové soustavě nebo pro jiné uspořádání např. nesouměrné uspořádání se zavede místo vzdálenosti vodičů d na střední geometrickou vzdálenost d_s .

Pro přesnější výpočty dosadíme místo poloměru vodiče r ekvivalentní poloměr r_e .

Tím dostaneme vzorec:

$$r_e = \sqrt[n]{r \cdot d_1 d_2 \dots d_{n-1}} \quad (1.6)$$

$$d_s = \sqrt[n]{d_1 d_2 \dots d_n} \quad d_n - \text{vzdálenosti vodičů mezi sebou} \quad (1.7)$$

$$r_e = \sqrt[n]{r \cdot a^{n-1}} \quad \text{kde } n - \text{počet vodičů ve svazku} \quad (1.8)$$

a – vzdálenost vodičů ve svazku

1.2.3 Kapacita vedení

Na vedení existuje kapacita vodiče proti zemi C_Z , vzájemná kapacita C_V mezi vodiči a kapacita provozní (celková, úhrnná).

U provozní kapacity platí vztah pro výpočet vedení:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{10^{-4} \cdot 242}{10^6} = 242 \cdot 10^{-10} \text{ F} = 242 \text{ pF} \quad (1.9)$$

1.2.4 Svod

Svod je dán nedokonalostí izolačního odporu, ztrátami korunou a u kabelů dielektrickými ztrátami. Neexistuje dokonalý izolant, tím pádem přes izolant prochází nějaký proud. Ztráty způsobené svodem jsou činné. Svod je povrchový proud a proto se vyrábějí různé izolátory, které jsou konstruovány tak, aby co nejvíce bránily svodovým proudům.

1.3 Silová elektrická vedení

Elektrické vedení jako součást elektrizační soustavy rozdělujeme na:

- venkovní
- kabelová

Navrhování kabelového vedení po konstrukční a mechanické stránce je jednodušší než u venkovního vedení. U venkovního vedení je mechanická stránka ovlivňována klimatickými podmínkami (vítr, mraz, teplota atd.) na celé trase vedení.

Hledá se optimalizační mechanický návrh z hlediska výskytu extrémních povětrnostních podmínek.

Elektrické venkovní vedení se skládá z:

- vodičů
- stožárů
- základů
- izolátorů a armatur

1.4 Venkovní elektrická vedení a jejich vodiče

Zvolení správného vodiče má vliv na mechanické i elektrické vlastnosti, ale na vodiče jsou mnohdy kladené opačné požadavky vůči jejím fyzikálním vlastnostem:

- z důvodu rušení korunou velký průměr, ale z důvodu námrazy malý průměr
- velkou pevnost
- malé pořizovací náklady
- malý elektrický odpor
- odolnost proti chemickým vlivům
- z důvodu vlivu větru velkou hmotnost, ale z důvodu dopravy malou hmotnost

1.5 Materiály používané na vodiče

Materiály, které je možné použít pro vodiče pro venkovní vedení jsou tyto:

Hliník (Al)

Má dobrou elektrickou vodivost, která je asi 65% vodivosti mědi. Hliník je čtvrtý nejlepší vodič elektrického proudu za stříbrem, mědí a zlatem. Je ~ 3 krát lehčí než Cu. Hliníkový vodič se stejným odporem jako Cu má poloviční hmotnost a dobrou korozní odolnost. Nevýhodou je malá pevnost a u venkovního vedení je nutno kombinovat s nosnými ocelovými lany.

Slitiny hliníku (Al)

Vyrábějí se převážně pro zvýšení elektrické pevnosti např.

slitina Aldrey- nejpoužívanější, skládá se z Al, 0,5 % Si a 0,5 % Mg, má téměř dvakrát větší pevnost než čistý hliník. Pevnost v tahu kolem 300 MPa.

slitina Jereal – obsahuje 0,15 %Zn, pevnost tahu dosahuje až 360 MPa, použití pro vodiče venkovního vedení, kde teplota nepřekročí 80°C

Měď (Cu)

Pro venkovní vedení se používá:

- polotvrdá: (R_m - 290 až 370 Mpa, tažnost 3 %), mírně pruží.
- tvrdá: (R_m – minimálně 370 Mpa, tažnost 0,8 až 1,8 %), značně pruží.

Měď patří k nejušlechtlejším kovům v elektronice, má příznivé mechanické vlastnosti, dobrou elektrickou i tepelnou vodivost a je odolná vůči atmosférické korozi. Na újmu je nízká teplota tání a tepelná vodivost.

Ocel (Fe)

Používá se oceli Fe 35 (s pevností 350 MPa), Fe 50, Fe 70, Fe 130. Ocelové dráty i lana podléhají korozi a proto je nutné je chránit proti korozi, např. zinkováním. Má velký elektrický odpor a proto se používá spíše pro kotevní lana, zemnicí lana a nosnou část kombinovaných lan.

Jiné materiály

Z nejznámějších je bronz. Je určena spíše pro zvláštní účely, ale musí být předem otestovaná v příslušné autorizované zkušebně.

1.6 Konstrukce používané u vodičů

U elektrických venkovních vedení se používají z hlediska konstrukce:

Lana prostá

Materiál se používá Cu, Al, Fe nebo Ald. Lze používat pro všechny velikosti napětí (lana z polotvrdé mědi do 1 kV). Zhotovuje se z několika vrstev drátu, které se zakrucují. Každá vrstva opačným směrem, aby se lano nerozplétalo. Lano má ve srovnání s drátem větší elektrický odpor, větší hmotnost, menší indukčnost, menší modul pružnosti, je však ohebnější a tím pádem bezpečnější.

Dovolené nejmenší průřezy lan venkovního vedení nn a vn jsou uvedeny v tabulce

Tab. 1 Nejmenší dovolené průřezy lan pro venkovní vedení.[1]

Materiál	Nejmenší dovolený průřez (mm ²)	
	do 1 kV	10 – 35 kV
Cu tvrdá	6	10
Cu polotvrdá	6	-
Ald	16	25
Fe	10	16
Lano AlFe	16	16
Lano AldFe	16	16

Pro lana se rozlišují tyto průřezy:

- matematický (součet průřezů všech drátů lana)
- jmenovitý (zaokrouhlený průřez elektrovedné části lana)
- elektrický (průřez plného vodiče se stejným odporem)

Dráty

Materiál se používá Cu, Ald, Fe, Al se může používat jenom na závěsné lana. Používají se pro vedení do 1 kV. Je taky omezen průřez vodiče, pro Fe 10 – 20 mm², Cu 6 - 25mm², Ald 16 – 25 mm².

Lana kombinovaná

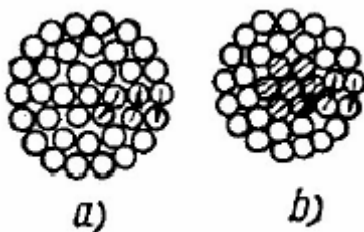
Pro venkovní rozvody se používají AlFe lana. Lano je konstruované tak, že obsahuje duši (ocelový drát nebo lano) a po obvodu jsou 1 až 4 vrstvy hliníkových drátů.

Hliníková lana pro venkovní vedení rozdělujeme:

- hliníková lana prostá – vyrábějí se z drátu o průměru 1,7 až 3,55 mm v jedné až třech vrstvách čemuž odpovídá celkový počet drátů 7, 9 a 37

- hliníková lana s ocelovou duší – střední část je vytvořena z oceli v poměru Al:Fe a to je 3:1, 4:1, 6:1 a 8:1.

Dráty se stáčejí v jedné až čtyřech vrstvách kolem středního drátu (duše pramene)



Obr.3 Hliníkové lano a) prosté, b) s ocelovou duší

Svazkové vodiče

Používají se převážně v síti vvn, k odstranění nežádoucích jevů povrchových gradientů a tím omezení korony u vedení a to tak, že vodič je tvořen několika paralelními vodiči.

Závěsné kabely

Používají se v síti nn a jsou tvořeny nosným ocelovým lanem a k tomu je přiřazen kabel vedení na společné izolaci. Průřez hliníkového kabelu je minimálně 10 mm².

1.7 Hladiny napětí

Pro možnost hromadného provozování elektrické sítě a taky z provozních a hospodářských důvodů se znormalizovaly. Uvedena jsou nejčastěji používaná napětí.

Zde uvedené napětí jsou sdružené. V praxi se v distribučních a přenosových soustavách používají tyto napětí

– venkovní síť a vedení	22, 35, 110, 400 kV
– kabelové síť	6, 10, 22 kV
– průmyslové rozvody	500 V
– venkovní i kabelové síť	230/400 V

Tab. 2 Rozdělení napěťových hladin[6]

Napětí	Hladiny sdružených napětí					
	Malé (mn)	Nízké (nn)	Vysoké (vn)	Velmi vysoké (vvn)	Zvlášť vysoké (zvn)	Ultra vysoké (uvn)
ss	120 V	1,5 V	nad 1,5 kV	-	-	-
st	50 V	600 V	52 kV	300	800	nad 800

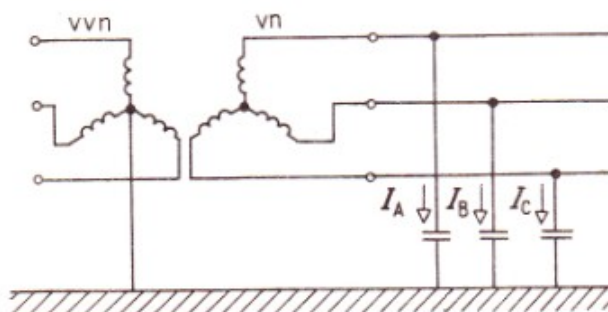
2. Teoretický rozbor vzniku zemního spojení.

Sítě vysokého napětí protínají území venkova, okraje a centra měst a taky průmyslové závody. Tyto sítě nemají přímo uzemněný uzel. Jejich případnou poruchu ovlivňují atmosférické vlivy nebo cizí zásahy. Díky tomu vznikají časté izolační vady, především proti zemi jednotlivých fází. Spojení některé fáze se zemí nazýváme zemní spojení. Zemní spojení má vůči zkratu ty přednosti, že má mnohem menší poruchový proud než zkrat a má kapacitní charakter. Zato zkrat má několikanásobně větší poruchový proud než je jmenovitý a má induktivní charakter.

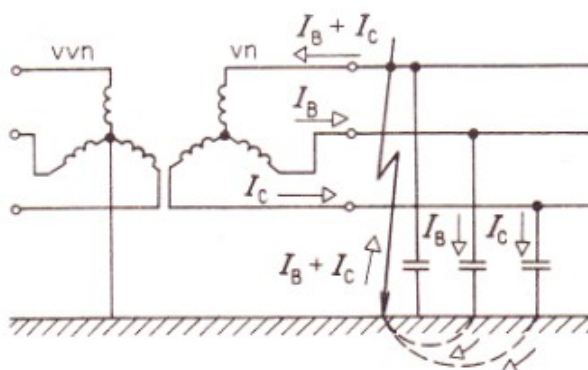
Poruchový proud přesahující 5A u zemního spojení má za následek časté elektrické oblouky, které dosahují značných délek, jsou dosti pohyblivé a tím mohou zasáhnout sousední fáze. Tenhle jev vzniká převážně v sítích většího rozměru. Za následek má pak dvoufázové nebo trojfázové zkraty, které díky své pohyblivosti popalují vodiče, dřevěné stožáry a izolátory.

Nežádoucím a taky nebezpečným jevem u zemního přerušovaného spojení je nestabilní hoření elektrického oblouku. K zachování provozu při zemním spojení se provádí kompenzace zemních proudů a to uzemněním uzlu sítě se zemí. V České republice se používají čtyři způsoby spojování uzlu se zemí a nejpoužívanější je přes zhášecí tlumivku. U sítí bez poruchy (symetrický chod sítě) se spojený uzel se zemí nijak neprojevuje do té doby, než vznikne zemní spojení.

V ustáleném provozním stavu izolovaných sítí procházejí kapacitami k zemi kapacitní proudy. Součet kapacitních proudů v symetrické síti a symetrickým napětím je roven nule.

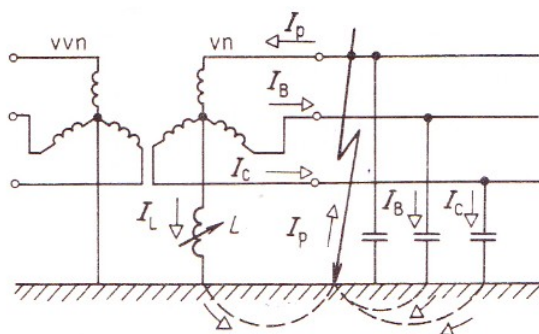


Obr. 4 Schematické znázornění sítě s izolovanou nulou[3]



Obr. 5 Schematické znázornění sítě s izolovanou nulou při zemním spojení[3]

Pokud dojde k situaci, že některá fáze se spojí se zemí, začnou se uzavírat kapacitní proudy neporušených fází přes zem, vinutí transformátoru a zemního spojení. Sít' s izolovaným uzlem může být ponechána v provozu, když zemí prochází poruchový proud, který nepřekročí stanovenou hodnotu. V rozsáhlých sítích, může poruchový proud dosáhnout velkých hodnot. U zemního spojení, při němž hoří elektrický oblouk a dochází k nepravidelnému hasnutí a zapalování, vzniká přerušované zemní spojení. Tyto situace můžou mít za následek zdroj přerušovaného přepětí sítě. K potlačení elektrického oblouku se uzemní nula transformátoru přes tlumivku v místě zemního spojení. Indukčnost tlumivky jde nastavit tak, aby indukční proud jdoucí od ní k místu zemního spojení zde kompenzoval kapacitní proudy fází, které nejsou v pořádku a tím dojde k uhašení elektrického oblouku



Obr. 6 Schématické znázornění vlivu zhášecí tlumivky[3]

2.1 Rozdělení zemních spojení

Podle velikosti přechodového odporu v místě zemního spojení se rozlišují:

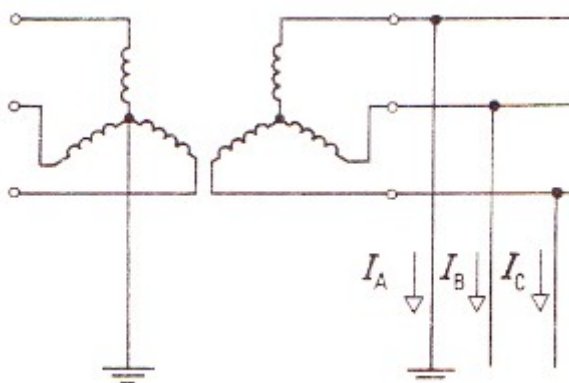
- odporová zemní spojení – hodnota přechodového odporu je řádově několik set Ω
- kovová a oblouková zemní spojení – hodnota přechodového odporu je jen několik Ω , zpravidla zanedbatelná[6]

Podle doby trvání těchto stavů se rozlišují:

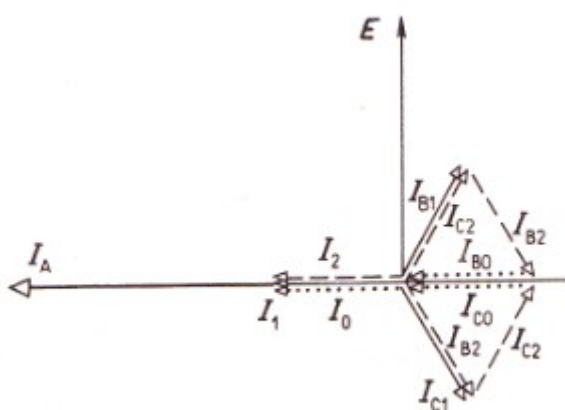
- mžiková zemní spojení – do 0,5 s
- krátkodobá zemní spojení – do 5 min
- přerušovaná zemní spojení – mžiková nebo krátkodobá zemní spojení několikrát po sobě se opakující
- trvalá zemní spojení – až do okamžiku odstranění, zpravidla několika hodin [6]

2.2 Trvalé zemní spojení

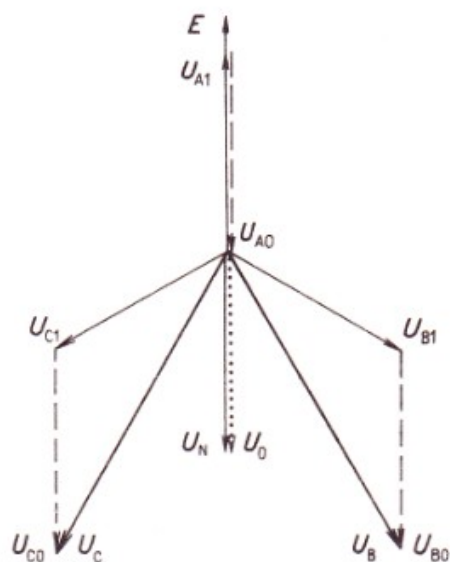
Výpočty zemního spojení se často provádějí ve fázových hodnotách.



Obr. 7 Schématické znázornění zemního spojení[3]



Obr. 8 Fázorový diagram proudů při trvalém spojení [3]



Obr. 9 Fázorový diagram napětí při trvalém zemním spojení [3]

Při trvalém zemním spojení jsou na obrázcích znázorněny fázorový diagram proudu a fázorový diagram napětí. Orientace složkových proudů a velikost vzhledem k fázoru E jsou dány rovnicí

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (2.1)$$

Fázorový proud zemního spojení je určen rovnicí

$$I_A = I_B = I_C \quad (2.2)$$

Fázor napětí jednotlivých napětí sestrojíme při zemním spojení pomocí rovnic

$$U_A = 0 \quad (2.3)$$

$$U_B = \dots \quad (2.4)$$

$$U_C = \dots \quad (2.5)$$

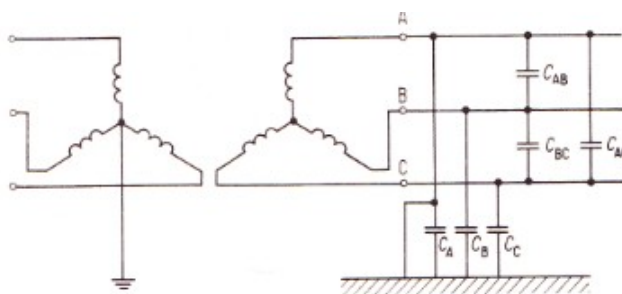
Fázor napětí uzlu U_N , který odpovídá rovnici

$$\dots \quad (2.6)$$

2.3 Přerušované zemní spojení

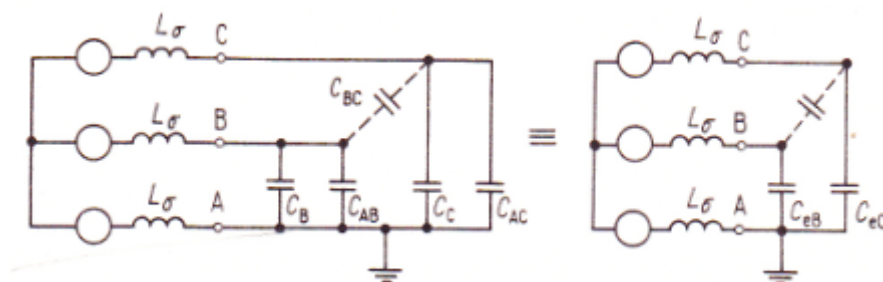
Sítě s izolovaným uzlem jsou známy tím, že se na nich vyskytuje nebezpečné přepětí při přerušovaném zemním spojení. Všechna zemní spojení nejsou trvalého charakteru a při průchodu nulou dojde k zhasnutí (přerušení) elektrického oblouku. Při nárůstu proudu může dojít k obnovení (opětovnému zapálení) elektrického oblouku, což má za následek vznik přepětíových oscilací v rozsáhlé elektrické síti. Při spojení některé fáze se zemí nastane přechodný jev, po skončení daného spojení fáze se zemí je napětí dané fáze nulové a na zbývajících fázích vzroste napětí na hodnotu sdruženého napětí.

Síť má kmitavý charakter, když přechází ze stavu normálního chodu do ustáleného stavu se zemním spojením. V celé síti se objevují napětíové oscilace. Indukčnost a kapacita celé sítě včetně napájecího transformátoru jsou hlavními parametry frekvenční oscilace. U výpočtu se zanedbává indukčnost venkovního vedení a kabelů.



Obr. 10 Schéma sítě s izolovaným uzlem při chodu se zemním spojením[3]

Na obr. 11 je znázorněna síť v chodu, zdrojem napětí je transformátor připojený na ideální napěťový zdroj. Na obrázku je fáze A spojena se zemí a kapacita fáze k zemi C_A s zkratována s kapacitou C_B , C_{AB} a taky C_C , C_{AC} jsou spojeny paralelně.



Obr. 11 Náhradní schéma elektrické sítě při uzemnění fáze A[3]

Teoreticky předpokládáme, že napětí dané fáze v daný okamžik zemního spojení mělo maximální hodnotu.

$$u_{A[0]} = u_m \quad (2.7)$$

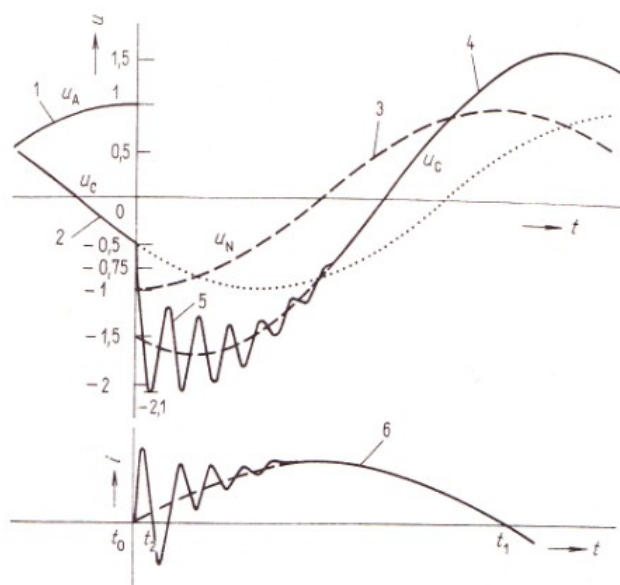
Napětí na kapacitách C_B a C_C v tomto okamžiku byla dána okamžitými hodnotami fázových napětí[3]

$$u_{B[0]} = u_{C[0]} = -0,5u_m \quad (2.8)$$

a napětí na kapacitách mezi fázemi B a C a postiženou fází A okamžitými hodnotami napětí[3]

$$u_{BA[0]} = u_{CA[0]} = -0,5 u_m - u_m = -1,5u_m \quad (2.9)$$

Při vzniku zemního spojení mají kapacity C a C' různá napětí při paralelním sepnutí a vzhledem k indukčnosti transformátoru se jejich celkový náboj nemůže změnit skokově. Závěrem je, že v prvních okamžicích zemního spojení působí napětí zdroje na ekvivalentní kapacitu C_e a je vyšší než napětí u_{e0} na této kapacitě. Přes indukčnost napájecího transformátoru vznikne nabíjecí proces a výsledkem procesu je vyšší oscilace a frekvence než je frekvence sítě.



Obr. 12 Průběh napětí při vzniku zemního spojení[3]

Průběh napětí nového ustáleného stavu $u_u(t)$ je určován elektromotorickým napětím zdroje. Získá se sečtením sousledné a netočivé složky napětí nebo, jinak řečeno, sečtením napětí uzlu napájecího transformátoru a původní fázové sinusovky napětí (na obr. kresleno pro fázi C; křivka 2 je původní u_C , křivka 3 je napětí uzlu N, křivka 4 je u_C). [3]

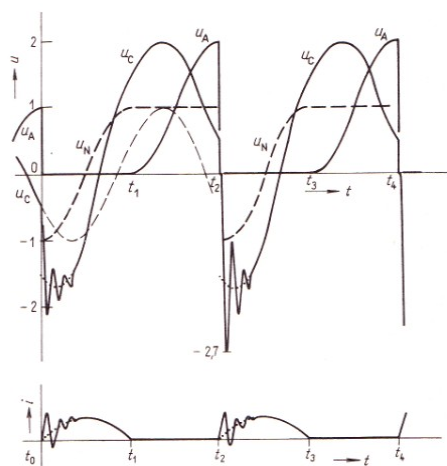
Z poznatku měření v reálných sítích se uvádí, že amplituda klesne v průběhu první periody na hodnotu 80 % až 90 % z původní hodnoty. Rozdíl mezi počátečním napětím nového ustáleného provozního stavu u_{u0} a napětí u_{e0} určuje velikost počáteční amplitudy.

$$u_{v0} = u_{u0} - u_{e0} \quad (2.10)$$

Ve střídavých sítích k zhasnutí elektrického oblouku je ideální, když proud prochází nulou. Sít' se zemním spojením dosáhne ustáleného stavu po doznění přechodných jevů, tedy k zhasnutí elektrického oblouku.

Na obr. 10 křivka 6 znázorňuje průběh proudu zemního spojení.

Teorie vzniku přepětí v sítích přerušovaném zemním spojením se liší. Podle výsledku měření je spíše nejpravdivější teorie Peterse a Slepiana, která říká, že zhasnutí oblouku dochází až při průchodu proudu nulou frekvencí sítě.



Obr.13 Průběh napětí při přerušovaném zemním spojení [3]

Zemní spojení s izolovaným koncem se používá u sítí malého rozsahu a nepříliš velkého napětí. Náboj, který si síť ponechala po přerušení zemního spojení se vybíjí přes indukčnost v uzlu transformátoru, pokud je síť kompenzována. Pravděpodobnost opětovného zapálení oblouku je malá.

3. Možnosti kompenzace zemních kapacitních proudů

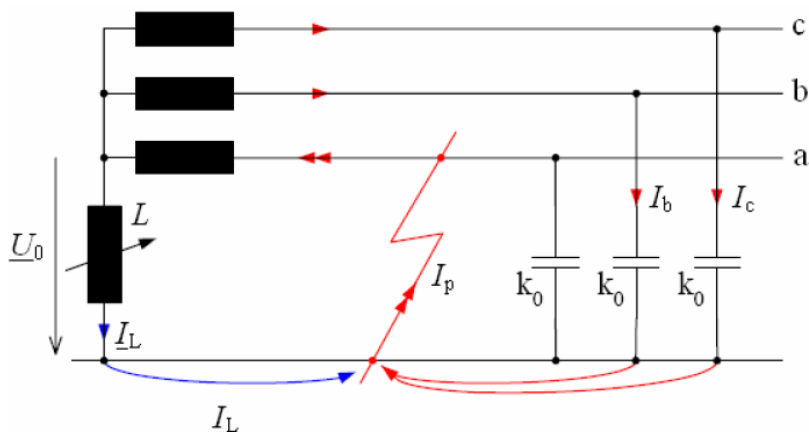
Kompenzace zemních proudů se do 5 A doporučuje, nad 10 A je nutná.

3.1 Sít nepřímo uzemněná přes zhášecí tlumivku

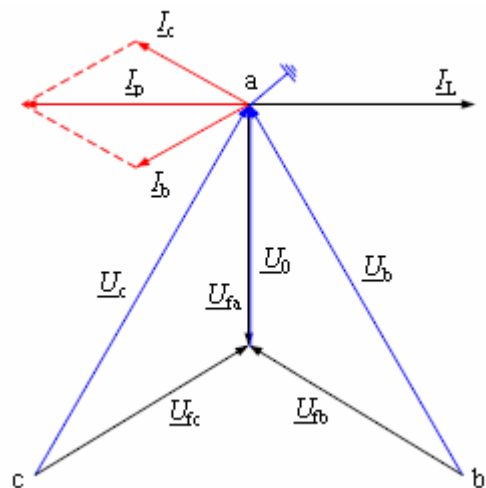
V rozvodnách vn se nejčastěji používá pro kompenzování zemních proudů zhášecí tlumivka. Zhášecí tlumivka (Petersonova tlumivka), která je regulovatelná se zapojuje do uzlu transformátoru. V symetrické síti za normálního provozu bez poruchy je na uzlu transformátoru $U_o = 0$. Při nesymetrickém provozu, tedy při poruše, je napětí na uzlu transformátoru $U_o < 0,001 U_f$. Pomocí zhášecí tlumivky má vykompenzovaný zemní proud tyto složky: svod, nabíjecí proud, činné složky proudu tlumivky a proudů harmonických. Při dokonalé kompenzaci má pouze činnou složku. U nedokonalé kompenzace nám přibude k činné složce i jalová složka. Její charakter závisí na tom, jestli bude síť překompenzovaná nebo podkompenzovaná. Jalový proud indukovaného charakteru se vyskytuje v překompenzované síti. Jalový proud kapacitního charakteru se vyskytuje u podkompenzované síti.

Při dokonalém zemním spojení je napětí uzlu $U_o = -U_f$. Proud v ideální cívce je zpožděn o $\pi/2$. Při správném nastavení zhášecí tlumivky jsme schopni úplně odstranit kapacitní složku narozdíl od činné složky, kterou neumíme dokonale odstranit. Spíše se vlivem indukčního proudu o něco zvětší. U dokonale kompenzované sítě je zbytkový proud závislý na velikosti sítě, na provozním napětí a svodu, který je ovlivněn stářím sítě.

Když jsou induktivní proudy zhášecí tlumivky proti fázi s kapacitními proudy zdravých fází, dojde k uhašení elektrického oblouku. U správného nastavení indukčnosti L se zemní proudy vykompenzují. Vlivem nevykompenzované činné složky, kterou tvoří činný odpor tlumivky a svod vedení v místě poruchy protéká zbytkový proud. Aby oblouk uhasnul vlivem deionizace jeho dráhy sám, musíme docílit, aby zbytkový proud byl menší jak 5A.



Obr. 14 Zapojení zhášecí tlumivky v síti [6]



Obr. 15 Princip kompenzace zemních spojení [6]

Proud tekoucí ideální zhášecí tlumivkou:

$$I_L = -j \frac{U_0}{\omega L} \quad (3.1)$$

Zdánlivý výkon zhášecí cívky určíme ze vztahu:

$$Q = U_0 I_L \quad [VA, V] \quad (3.2)$$

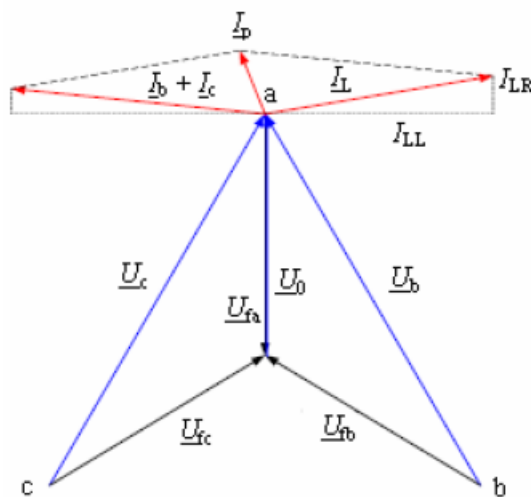
U (V) je sdružené napětí sítě. Jalový výkon je indukčního charakteru:

$$Q = \omega k_0 U^2 \quad [VA, V] \quad (3.3)$$

Zbytkový proud místem poruchy:

$$I_f = \left[\frac{1}{R} + j\omega C \right] U_0 \quad (3.4)$$

Zbytkový proud tekoucí po kompenzaci je znázorněn ve fázorovém diagramu:

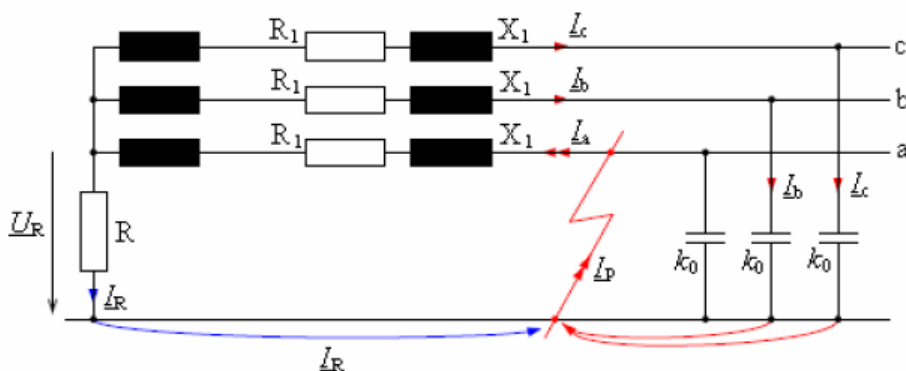


Obr. 16 Fázorový diagram se zbytkovým proudem [6]

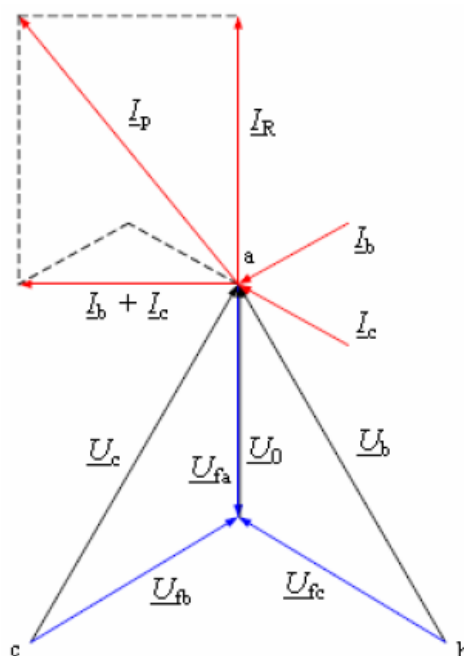
3.2 Nepřímo uzemněná síť přes odpor

Síť s uzlem uzemněným přes odpor se používá tam, kde je problém naladit zhášecí tlumivku a to v kapacitně souměrných sítích (městské sítě). Při vzniku poruchy izolace na kabelu poklesne fázové napětí poškozené fáze a napětí uzlu se změní na blízkou hodnotu fázového napětí. V místě poruchy protéká zkratovací proud s činným odporem a kapacitní proud cele sítě. K omezení zkratového proudu si pomůžeme správnou volbou R . Velikost poruchového proudu klesá s rostoucí vzdáleností poruchy od napájecího transformátoru. Musíme splnit podmínku, aby tlumení přepětí dobře fungovalo, a to že jmenovitý proud rezistoru byl větší než kapacitní proud sítě.

Výhody odporu mají ti, jež omezují přepětí tam, kde nejsme schopni zemní spojení okamžitě odstranit. Další dobrou výhodou odporu je, že nepotřebuje tolik prostoru jako zhášecí tlumivka.



Obr. 17 Činný odpor v uzlu trojfázové sítě [6]



Obr. 18 Fázový diagram při zemní poruše v blízkosti transformátoru [6]

Pro správné fungování tlumení musí být splněna podmínka:

$$I_R \geq I_{kap} \quad (3.5)$$

$$\frac{U_f}{R} \geq 3\omega k_0 U_f \quad (3.6)$$

pro odpor uzlového rezistoru tedy platí:

$$R \leq \frac{1}{3\omega k_0} \quad (3.7)$$

Proud poruchy je dán vektorovým součtem kapacitních proudů sítě a jmenovitým proudem uzlového odporu.

$$I_P = \left(\frac{1}{R} \sqrt{3} U_0 \right) + I_{Rk} \quad (3.8)$$

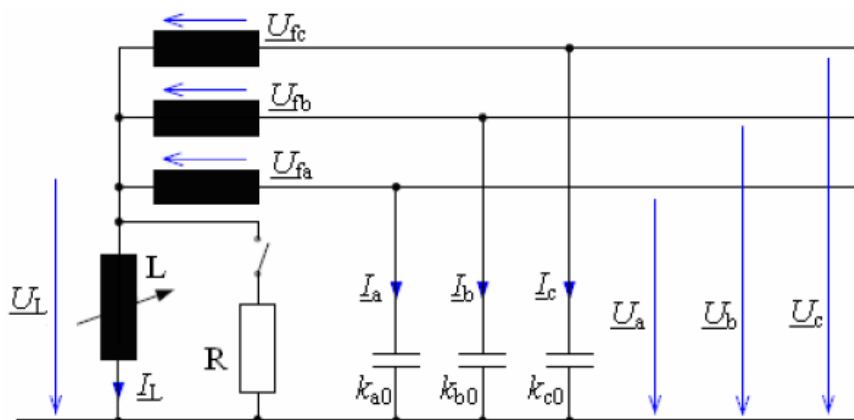
3.3 Sít' s přechodným uzemněním uzlu

Tohle zapojení kompenzuje zemní spojení přes tlumivku a v případě déle trvajícím zemním spojením se k tlumivce paralelně zapojuje odpor. Pro zlepšení činnosti zemních ochrany se připojuje rezistor, který zvětší poruchový proud. Připínání rezistoru se provádí automaticky. Aby automatika zapla rezistor, tak má časovou prodlevu a vyčkává, jestli zemní spojení nezanikne. Rezistor se připojuje jen k trvalým zemním spojením. Automatika spolupracuje s měřícím obvodem, který

kontroluje jestli napětí procházející tlumivkou nepřesahuje dovolenou mez. Doba sepínání se zpožďuje a čas je volitelný.

Proud uzlovým rezistorem má být větší než kapacitní proud sítě:

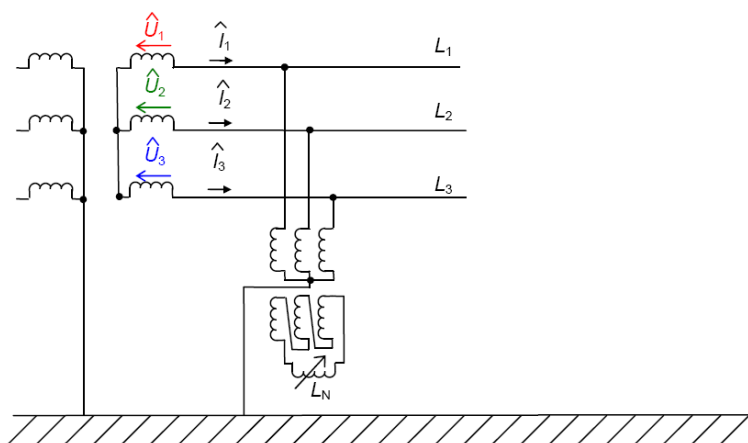
$$R \leq \frac{1}{3\omega k_0} \quad (3.9)$$



Obr. 19 Schéma sítě s přechodným uzemňovacím uzlu [6]

3.4 Sít s nepřímým uzemněním uzlem přes Bauchův transformátor

Bauchův zhasací transformátor se skládá z primárního vinutí spojeného do hvězdy a připojeného paralelně k vývodům generátoru a ze sekundárního vinutí spojeného do trojúhelníku, který se uzavírá přes vloženou regulovatelnou indukčnost LN. Bauchův transformátor plní stejnou funkci jako Petersenova tlumivka, ale jeho výhodou je, že zkratové proudy neprocházejí vinutím generátoru. Jeho nevýhodou jsou náklady na jeho pořízení, což zapříčinilo jeho rozšíření v praxi.[7]



Obr. 20 Sít VN s nepřímým uzemněním uzlem přes Bauchův transformátor [7]

4. Možnosti lokalizace místa zemního spojení

Pokud dojde k zemnímu spojení, tak dochází v sítích k určitým jevům, které ukazují, že došlo k poruše. Těmito jevy jsou:

- na zdravých fázích dochází k zvýšení napětí, které může dosáhnout sdruženého napětí
- na vektorech jednotlivých fází se neobjevuje nula
- dochází ke snížení napětí fáze vůči zemi
- výsledný součet proudů v zemnicím vodiči se nerovná nule
- na sekundární straně transformátoru napětí, která je měřena, vzniká nulová složka napětí
- na uzlu transformátoru vůči zemi se objevuje napětí

V kompenzované síti, ve které došlo k zemnímu spojení je nutné okamžitě hledat místo poruchy. A to z důvodu, že síť, která napájí spotřebič, ve kterém nesmí docházet k častým výpadkům dodávky elektrické energie. Proto síť, která je kompenzovaná, se i při zemním spojení nechává v provozu a to do té doby než se síť může vypnout nebo nedojde k oteplení oleje ve zhášecí tlumivce.

Používají se určité postupy při vzniku zemního spojení v síti VN:

- lokalizace místa zemního spojení v zjištěném vývodu
- rozpoznání zemní poruchy v síti VN
- zjištění vývodu se zemním spojením

Ochrany, které se právě používají neurčí místo zemního spojení, jen zjišťují vznik zemního spojení a určují vývody se zemním spojením. Způsoby určování zemního spojení jsou tyto:

- pomocí indikátoru, který vyhodnocuje zemní spojení, který se upevňuje na sloupech podél vedení
- automatickým odepínáním úseků sítě až do okamžiku ztráty zemního spojení [7]
- postupné ruční vypínání úseků sítě až do okamžiku ztráty zemního spojení [7]
- vizuální kontrola
- zemní relé, které jsou umístěny na vývodech z rozvodny [7]

4. 1 Lokalizace u sítě s kompenzací zemních kapacitních proudů

Hlavním kritériem u zemního spojení se používá činný výkon a u elektrických ochrany směr součtového proudu. Důležité je správné nastavení zhášecí tlumivky, aby v těchto sítích byla velikost a směr jalové složky proudu u vývodu se zemním spojením. Takzvaný rušivý proud se objevuje za uzlem transformátorů vlivem nesymetrií v sítích nebo taky v nesymetriích v zátěžích proudových

transformátorů. Aby byly ochrany nastaveny nad rušivý proud, tak se v kompenzovaných sítích zvyšuje proud při zemním spojení. Abychom dosáhli dostatečného výkonu ke spolehlivému rozběhu, musíme splnit podmínku ve vztahu:

$$P_{nast} \geq \frac{(\sum P_{ru})}{k_g} \quad (4.1)$$

Taky je potřeba nastavit relé tak, aby bylo nad rušivým výkonem. Je dána podmínka $P_{nast} \geq 2 P_{ru}$, i když určujeme rušivý výkon orientačně. Po odstranění rušivých proudů zvýšením napětí je taky důležité pro správnou funkci směrových ochran správně orientované připojení obvodů jak napěťových tak i proudových.

4.2 Lokalizace místa zemního spojení s využitím proudového kritéria

Pro využití napěťového kritéria pro nalezení místa zemního spojení musíme spočítat zemní kapacitní proudy chráněného vývodu I_{CV} a taky i okolní připojené sítě I_{CS} .

$$I_{CS} = 360 I_f \quad (4.2)$$

$$I_{CV} = 360 I_f \quad (4.3)$$

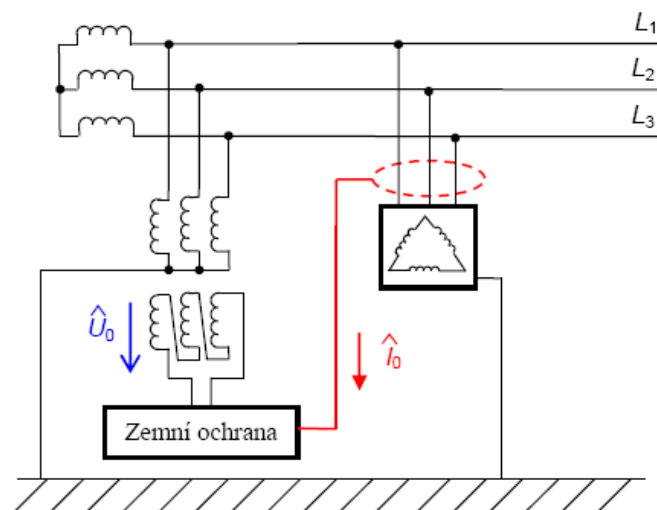
Taky je nutné rozpoznávat případy pro určení zemního spojení:

$$a) I_{CS} \approx I_{CV}$$

$$b) I_{CS} \gg I_{CV}$$

$$a) I_{CS} \approx I_{CV}$$

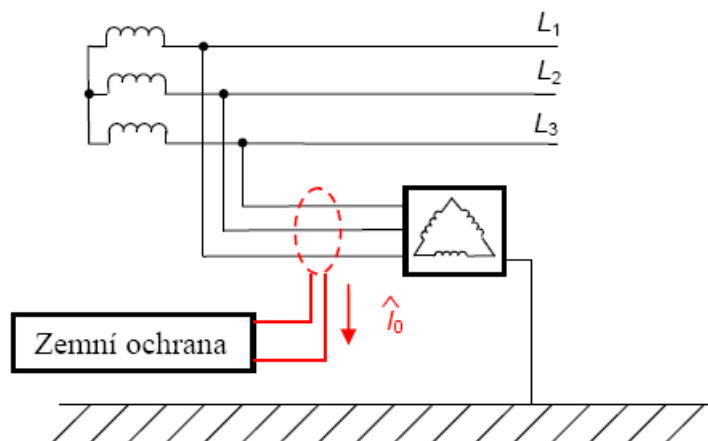
Proud chráněného vývodu a kapacitní proud sítě jsou porovnatelné. Když výpočet potvrdí, že není dostačujícím kritériem velikost zemního kapacitního proudu I_{KAP} , tak se provede zapojení ochrany podle obrázku 21. Ochrana je koncipována tak, že zemní spojení je buď v síti nebo na vývodu, neboli směr proudu se mění. Ochranu sestavili tak, aby na vývodu při zemním spojení byla síť napájena kapacitním proudem z vývodu a naopak. Ochrana působí jenom uvnitř vývodu při zemním spojení a taky zajišťuje v poškozeném obvodu tok energie. Z těchto důvodů tuto ochranu nazýváme jalovou.



Obr. 21 Zemní ochrana sítě s izolovaným bodem se zemním proudem $I_{CS} \approx I_{CV}$ [7]

b) $I_{CS} \gg I_{CV}$

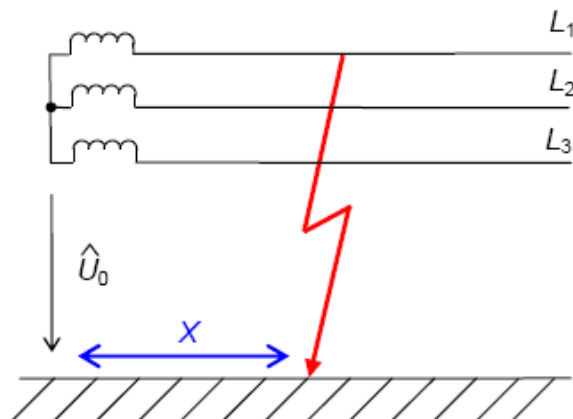
Kapacitní proud chráněného vývodu je mnohonásobně menší než kapacitní proud sítě. Při téhle podmínce je dobré použít ochranu dle obr. 22. Nulová složka kapacitního proudu sítě I_{CS} a vývodu I_{CV} prochází v místě ochrany při zemním spojení. K těmto proudům $I_{CS} > I_C > I_{CV}$ je vyladěna proudová ochrana. Z průvlékového transformátoru proudu pro napájení zemní nadproudové ochrany získáme nulovou složku zemního kapacitního proudu.



Obr. 22 Zemní ochrana sítě s izolovaným bodem se zemním proudem $I_{CS} \approx I_{CV}$ [7]

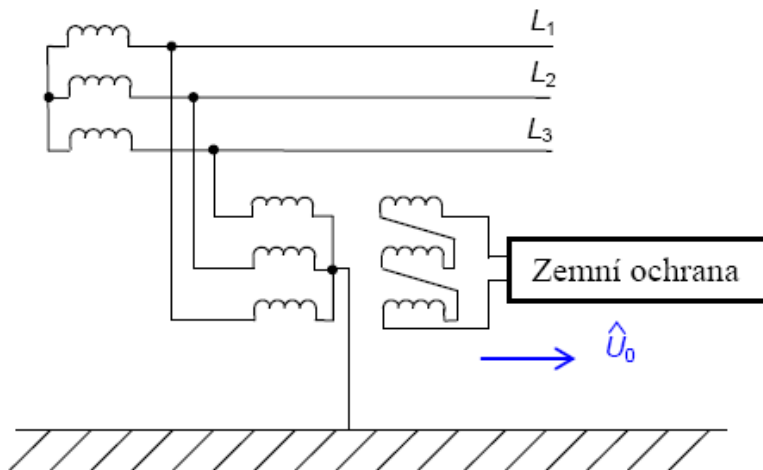
4.3 Lokalizace místa zemního spojení s využitím napětového kritéria

Napětová ochrana stačí k identifikaci zemního spojení. U vzniku zemního spojení vzniká napětí U_o mezi zemí a uzlem. Pokud je provoz sítě bez poruchy (bez zemního spojení) je mezi zemí a uzlem nulové napětí. Vzdálenost uzlu transformátoru od zemního spojení je úměrná napětí.



Obr. 23 Napětí na uzlu transformátoru při zemním spojení [7]

Pokud nemáme potřebný přístrojový transformátor, tak se použije pro měření zapojení tří transformátorů napětí, které jsou zapojené do otevřeného trojúhelníka podle obrázku 23. U těchto transformátorů musí být vstupní uzel hvězdy uzemněn. Napěťovou ochranu tohoto způsobu zapojení se používá tam, kde se nemůže odpojit postižená síť jenom jako celek.



Obr. 24 Připojení ochrany na otevřený trojúhelník [7]

4.4 Lokalizace místa zemního spojení postupným vypínáním úseků.

U postupného odpojování úseků sítě se dosáhne toho, že odpojíme nejmenší úsek, kde se zemní spojení vyskytuje. Tato lokalizace se uskutečňuje s využitím dálkově ovládaných a řízených úsečnickových odpojovačů. Tenhle způsob lokalizace se používá převážně u malých rozvodn nebo u středních transformoven, protože v případě vypnutí nedochází ke ztrátám a výpadkům ve vedení většího rozsahu. U tohoto způsobu může vznikat přepětí v síti, což má za následek tepelné a mechanické namáhání sítě a možnosti opětovného vzniku zemního spojení. Tenhle způsob lokalizace zemního spojení je dosti ekonomicky nákladný a taky příliš zdoluhavý.

4.5 Lokalizace zemního spojení kontrolou údržby

U tohoto způsobu lokalizace zemního spojení se jedná o vizuální kontrolu vedení. Hledá se příčina zemního spojení a to může být nějakým mechanickým důvodem, například spadlý strom. Tenhle způsob kontroly se provádí tam, kde došlo k bližšímu nalezení zemního spojení vlivem velké rozlohy sítí VN.

5. Příklad výpočtu

Návrh kompenzačního zařízení kabelového rozvodu z rozvodny 110/22 kV DyO. Pro síť je použit kabel NA2XSY 18/30 kV. Délka rozvodu je 100 km o napětí 22 kV.

Technické údaje vodiče:

Počet žil a jmenovitý průřez mm $1 \times 70 \text{ RM}/16$

Hmotnost hliníku: 206 kg/km

Hmotnost Cu: 190 kg/km

Vnější průměr ca.: 37 mm

Vnější průměr maximálně ca.: 42 mm

Hmotnost ca.: 1315 kg/km

Zatížitelnost země: 214 A

Odpor jádra max.: 0,443 Ω /km

Indukčnost trojúhelníku: 0,46 mH/km

Kapacita: $C = 0,14 \mu\text{F}/\text{km}$



Konstrukce

Jádro:	lanované, kulaté a komprimované hliníkové jádro podle EN 60228, třída 2
Dolní polovodivá vrstva:	vytlačovaná
Izolace:	XLPE, jmenovitá tloušťka 8,0 mm
Horní polovodivá vrstva:	vytlačovaná, nesloupatelná
Separátor:	polovodivá páska
Koncentrický vodič:	žíhané měděné dráty a protispirála z měděné pásky
Plášť:	bezolovnaté PVC, červený
Příklad značení:	NA2XSY 18/30 (36) kV 1 x 70 RM/16 DRAKA, rok výroby, číslo dílčí délky, metrování

Obr. 25 Použitý kabel z katalogu

Celková kapacita sítě:

$$C_{\text{celk}} = 14 \text{ } \mu\text{F}$$

(5.1)

Kapacitní poruchový proud:

$$I_{\text{p}} = \frac{U_{\text{f}}}{\sqrt{3}} \sum_{i=1}^3 \frac{C_i}{\omega} \quad (5.2)$$

Dimenzování kompenzační tlumivky:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C_{\text{p}}} \quad (5.3)$$

Výkon zhášecí tlumivky:

$$P_{\text{L}} = \frac{U_{\text{f}}^2}{\omega L} \quad (5.4)$$

Zhášecí tlumivka se připojuje k uzlu transformátoru. V případě, že není vyveden uzel napájecího transformátoru, vytvoří se umělá nula, kde se připojí zhášecí tlumivka.

6. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá kompenzací zemního proudu ve vn sítích. Mým cílem bylo vytvořit všeobecný přehled této problematiky. Vše jsem doplnil vhodnými obrázky a vzorci.

První část se zabývá vedením kabelových a venkovních sítí nn a vn. Pro pochopení jsem zde vysvětlil několik základních pojmů. V elektrických soustavách se nám objevují jevy, které nám ovlivňují přenos elektrické energie a bez nichž bychom nemohli tuto energii spolehlivě přenášet. Ke každému parametru jsem uvedl základní vztahy pro výpočet. Z celkového návrhu je kabelové vedení pro návrh jednodušší. Pro mechanické a elektrické vlastnosti má vliv správné zvolení vodiče. Mnohdy je na ně kladeno více podmínek, které jsou navzájem v rozporu. Také mechanické a elektrické vlastnosti ovlivňují materiály, ze kterých jsou vodiče vyrobeny. Nejpoužívanější je měď a hliník nebo nějaké slitiny. Z konstrukčního hlediska se používají lana prostá, kombinovaná, dráty, svazkové vodiče a závěsná lana. A to vše rozdělujeme do napěťových hladin.

Zabývám se zde také vznikem zemního spojení. Toto spojení má vůči zkratu určité přednosti a to zejména menší poruchový proud. Zemní spojení rozdělujeme do více celků. Ty se pak dělí podle velikosti přechodného odporu v místě zemního spojení na odporové, kovové a obloukové. Dále podle doby trvání těchto stavů na mřížková, krátkodobá, přerušovaná a trvalá zemní spojení. Podrobněji se pak zabývám trvalým a přerušovaným zemním spojením.

Z teorie o vzniku zemního spojení chápeme, že toto spojení je nežádoucí jev, který nám ohrožuje spolehlivost a bezpečnost sítě a na to navazuje další kapitola. Kompenzace zemního spojení je způsob, jak můžeme následky těchto poruch omezit. Mezi nejznámější způsob kompenzace patří zapojení zhášecí tlumivky do uzlu transformátoru, známý také jako Petersenova tlumivka. Tento způsob je hojně používán v České republice.

Důležité je rychle a přesně lokalizovat zemní spojení. Tuhle problematiku jsem popsal v poslední části téhle práce. Hlavně to, jakým způsobem tyto poruchy nalézáme a jak rychle jsme schopni odpojit postižený úsek. Pokud dojde k zemnímu spojení, tak se v síti objevují jevy, které nám ukazují, že došlo k dané poruše, (např. na zdravých fázích dochází ke zvýšení napětí, které může dosáhnout sdruženého napětí).

Tyto jevy využíváme k lokalizaci zemního spojení a následnému odpojení postižené části. Snažíme se, aby k odpojení došlo v co nejkratší dobu, aby nám postižená část nezpůsobovala ještě větší škody. Mezi nejjednodušší lokalizace patří postupné odpojování úseků. Z těch složitějších se pak využívají automatické systémy.

V závěru je ukázka praktického výpočtu kompenzačního prvku. Je použita kompenzace přes zhášecí tlumivku. Na základě zvoleného kabelu a parametru daného výrobcem byl vypočten výkon tlumivky.

Dnešní moderní společnost je zcela závislá na elektrické energii. Abychom udrželi spolehlivost dodávky elektrické sítě, musíme znát všechny jevy, které se v síti objevují. Budu rád když se tahle práce stane vhodným vodítkem k dalšímu studiu a pochopení problematiky, kterou jsem se zabíral.

Seznam použité literatury

- [1] SANTARIUS, P. *Elektrické stanice a vedení: určeno pro 5. a 6. roč. fak. strojní a elektrotechn.* 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1990, 214 s. ISBN 80-707-8032-0.
- [2] HODINKA, Miloslav. *Přenos a rozvod elektrické energie.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1989, 323 s. ISBN 80-030-0065-3.
- [3] Z. TROJÁNEK, J. HÁJEK, P. KVASNICA. *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách.* Praha: SNTL, 1987.
- [4] TOMAN, Petr. *Lokalizace místa zemního spojení v sítích VN.* 1. vyd. Brno: VUT v Brně, 2002, 31 s. ISBN 80-214-2245-9.
- [5] *Zemní spojení v trojfázových soustavách* [online]. [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/attach/ES/ZemniSpojeni.pdf>
- [6] GOLD, P.: *Zemní kapacitní proudy a možnosti jejich kompenzace v sítích nn a vn*, Ostrava 2010, Bakalářská práce na VŠB – Technická univerzita Ostrava
- [7] RICHTER, P., *Vybrané diagnostické metody lokalizace zemního spojení v sítích VN.* 2010. Diplomová práce na VŠB – Technická univerzita Ostrava
- [8] BOBÁK, P.: *Hlediska projektu venkovních I kabelových vedení.* Ostrava 2010. Bakalářská práce na VŠB – Technická univerzita Ostrava